AEET
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE ECOLOGÍA TERRESTRE

Ecosistemas 21 (1-2): 21-35. Enero-Agosto 2012.
http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=711

INVESTIGACIÓN



Impacto económico de los pagos por carbono y servicios ambientales en las inversiones forestales en la región Caribe de Costa Rica

W. Fonseca [1], G. Navarro [2], F. Alice [1], J.M. Rey-Benayas [3]

(1) Escuela de Ciencias Ambientales, Campus Omar Dengo, Universidad Nacional de Costa Rica. Apdo postal 86-3000. Heredia, Costa Rica.
(2) Universidad EARTH, Campus de Guácimo, Limón. Apdo postal 4442-1000, San José, Costa Rica.
(3) Departamento Interuniversitario de Ecología. Edificio de Ciencias. Universidad de Alcalá. E-28871, Alcalá de Henares, España.

Recibido el 4 de diciembre de 2011, aceptado el 16 de marzo de 2012.

Fonseca, W., Navarro, G., Alice, F., Rey-Benayas, J.M. 2012. Impacto económico de los pagos por carbono y servicios ambientales en las inversiones forestales en la región Caribe de Costa Rica. *Ecosistemas* 21(1-2):21-35.
El objetivo de este estudio fue estimar el balance de la inversión asociada a la restauración forestal por medio del establecimiento de plantaciones (*Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides*) y de la regeneración natural (bosque secundario sin y con manejo intensivo). Se consideraron diferentes escenarios económicos donde se evaluaron ingresos por: venta de la madera, pago de los servicios ambientales (PSA) provenientes del Fondo de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) del gobierno costarricense y por venta de certificados de reducción de emisiones de carbono (CER). Se comparó la actividad forestal contra usos alternativos de la tierra como ganadería, banano y piña. El análisis de las inversiones se evalúo tomando como criterio el valor esperado de la tierra (VET) con tasas anuales de descuento aceptables (TMA) del 3%, 6% y 9,0% las cuales reflejan las preferencias y condiciones de diferentes inversionistas. Para las plantaciones forestales y bosque secundario sin manejo y con manejo intensivo se estimó una inversión total promedio de US$5200, US$1730 y US$1373 ha^{-1}, respectivamente. Los ingresos estimados por la venta de la madera superaron los US$21142 ha^{-1} entre ambas especies, US$1250 y US$13408 ha^{-1} para el bosque secundario con manejo mínimo y con manejo intensivo, respectivamente. Los ingresos por CER y por PSA representan cantidades marginales en comparación con los ingresos por madera. El cultivo de piña y el de banano como usos alternativos de la tierra son los más rentables, seguido por las plantaciones forestales y por último la ganadería y los bosques secundarios con y sin manejo, que no solo son los menos rentables, sino que tienen sus valores calculados por debajo del precio de la tierra. La restauración forestal no resulta una actividad atractiva económicamente para el propietario de la tierra, basado solamente en ingresos provenientes de pagos de servicios ambientales o venta de carbono a los precios actuales. Los precios más altos de la madera y una tasa de descuento baja (que representan condiciones macroeconómicas favorables), son los factores determinantes para hacer eficientes y sostenibles las inversiones forestales tanto en bosque secundario como en plantaciones forestales en la región Caribe de Costa Rica.

Palabras clave: créditos de carbono, pago de servicios ambientales, investigación forestal, plantaciones forestales, regeneración natural, valor esperado de la tierra (VET).

Fonseca, W., Navarro, G., Alice, F., Rey-Benayas, J.M. 2012. Economic impact of payment of carbon credits and environmental services in forestry investments in the Caribbean region of Costa Rica. *Ecosistemas* 21(1-2):21-35.
The goal of this study is to estimate the economic efficiency of the investment associated with forest restoration processes through the establishment of forest plantations (*Vochysia guatemalensis* and *Hieronyma alchorneoides*) and natural regeneration (secondary forest with and without management). Different economic scenarios were considered with variations from revenues coming from timber sales, payment of environmental services (PES) by the Costa Rican government, and sales of emission reduction certificates. Forestry activities were analyzed in the context of other alternative uses such as cattle, bananas and pineapple plantations. The investment analysis was performed taking into account the land expectation value (VET) with annual minimum acceptable discount rates in real terms (TMA) of 9%, 6% and 3%, which reflected different investor preferences and conditions. For plantation forestry and secondary forest with and without intensive management, estimated average investment were US$5200, US$1730 y US$1373 ha^{-1}, respectively. Timber revenues were above US$21142 ha^{-1} for both species under plantation forestry. Secondary forest revenues were US$1250 and US$13408 ha^{-1} for secondary forest with low and intensive management, respectively. CER and PSA represented marginal quantities compared with timber revenues. Pineapple and banana plantations are land uses with the highest economic efficiency, followed by forest plantations. Cattle-raising and secondary forest with and without management are not only the least profitable land uses but also their calculated values are below the land price. Forest restoration will not become an acceptable economic activity for a landowner that relies on income generated from

environmental services and carbon credits at current prices. High timber prices and low discount rates (desirable macroeconomic conditions) are determining factors in achieving efficient and sustainable investments in forestry activities in the Caribbean region of Costa Rica.

Key words: Carbon credits, forest investments, forest plantations, land expectation value (LEV), natural regeneration, payment of environmental services.

Introducción

La sociedad enfrenta el fenómeno del cambio climático provocado por el incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, producto de las emisiones por consumo de combustibles fósiles y la destrucción y quema de los bosques. Para contrarrestarlo surgen como opciones la reducción de emisiones y/o la compensación de emisiones mediante el incremento de la captura o fijación del carbono atmosférico y su almacenamiento en sumideros de carbono en los ecosistemas terrestres, principalmente en suelo y vegetación. Muchos autores resaltan la importancia de la regeneración natural y de las plantaciones forestales en la mitigación del cambio climático (Bonan 2008; Liu et al. 2008; van Bodegom et al. 2008; Basu 2009).

El Protocolo de Kioto, a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), establece el marco legal para las transacciones de carbono entre países emisores y mitigadores. Esto supone oportunidades para los países en desarrollo de acceder a financiamiento y poner en marcha proyectos de recuperación de áreas desforestadas, ya sea estableciendo plantaciones forestales o por regeneración natural (Rey-Benayas et al. 2005). Sin embargo, el MDL establece largos, complicados y costosos procedimientos, lo que sumado a la falta de métricas de carbono y de emisiones antrópicas de GEI y a la existencia de muchas barreras hace difícil que el sector forestal pueda ingresar a los mercados de carbono (Salinas y Hernández 2008). Entre algunas barreras se citan la falta de recursos financieros, el alto costo de los estudios, falta de capacidades técnicas y de gestión del recurso con un alto grado de especialización y restricciones del mercado a los créditos forestales (Merger 2008; Basu 2009),

Ante las dificultades del MDL, los países tropicales tienen una nueva opción para obtener ingresos por el carbono almacenado por medio del programa REDD+ (reducción de emisiones por deforestación y degradación de bosques). Costa Rica ha liderado esta iniciativa y cuenta con la propuesta Readiness R-PP Costa Rica, presentada al Forest Carbon Partnership Facility (FCPF) (MINAET/FONAFIFO 2010). Para desarrollar esta propuesta y alcanzar la meta de *carbon neutrality* promulgada por el gobierno se debe aumentar el área a restaurar por medio de sucesión secundaria y de plantaciones forestales (MINAET 2009).

La región Caribe de Costa Rica corresponde en su mayor parte a las zonas de vida de “bosque tropical húmedo” y “bosque tropical muy húmedo”, los cuales se caracterizan por su alta productividad primaria neta y resultan muy aptas para proyectos de secuestro de carbono. Además, se registran los índices más altos de pobreza en el país (MIDEPLAN 2007) y con frecuencia sufre serios daños provocados por inundaciones. Pero la falta de información sobre la rentabilidad de los diferentes usos del suelo ha limitado el planteamiento y desarrollo de políticas que fortalezcan la sostenibilidad ambiental, económica y social en la zona.

La falta de información motivó que se realizara este estudio, cuyo objetivo principal fue estimar el balance financiero asociado a la restauración forestal y así responder a las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los factores que más afectan a la rentabilidad de las inversiones forestales? ¿Cuál debe ser la compensación al propietario de la tierra para que convierta las actividades productivas de terrenos de uso agrícola a restauración forestal?

El balance financiero de la restauración forestal incluyó los costos e ingresos previsibles por producción de madera, por captura de carbono y por pago por servicios ambientales en distintos escenarios, tomando el valor esperado por la tierra (VET) como criterio para aceptar o rechazar una inversión en usos de la tierra. Adicionalmente se compararon las actividades forestales con otros usos alternativos de la tierra como ganadería y cultivos como banano y piña.

Métodos

Área de estudio

El trabajo se desarrolló en la zona Caribe de Costa Rica, en un área de aproximadamente 500 000 ha en la zona de vida de bosque tropical muy húmedo (Holdridge 1967). La altitud varía entre 50 y 350 msnm, con una precipitación media anual entre 3420 y 6840 mm y temperatura media anual entre 25 y 27 ºC (Mena 2010). Los suelos son Ultisoles e Inceptisoles (ITCR 2004) y el 54,7% del área es considerada de uso exclusivo para protección de flora y fauna, captación de agua y belleza escénica (MIDEPLAN 2008a). La región está catalogada como una zona rural y socialmente rezagada (MIDEPLAN 2008b), a pesar de poseer la mayor cantidad de recursos forestales del país. Presenta una tasa de desempleo del 7,9%, un 24,6% de hogares en condición de pobreza y el 4,8% en pobreza extrema, el ingreso promedio por hogar más bajo del país y la tasa de mortalidad infantil más alta, 10,2 por mil niños nacidos (MIDEPLAN 2009; 2010).

Costos e ingresos de la restauración forestal para un ciclo de aprovechamiento

La inversión necesaria –o costo promedio por hectárea para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales a nivel nacional– para este estudio se obtuvo a través de una encuesta a empresas del sector, con énfasis en la utilización de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* con ciclos de aprovechamiento o turnos de corta de 15 y 20 años, respectivamente. La encuesta consistió en estimar el rendimiento de las actividades requeridas (**Tabla 1**) durante el ciclo de aprovechamiento de una plantación. La misma se realizó por medio de visitas a campo y/o por teléfono y en algunos casos se obtuvo acceso a bases de datos de las empresas. El valor de la mano de obra fue asignado considerando el salario vigente a la fecha según el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (http://www.mtss.go.cr/) y el costo de los diferentes insumos por medio de visitas a diferentes establecimientos comerciales.

Sistema productivo	Ciclo de corta (años)	Producción madera (m^3 ha^{-1})	CER ha^{-1}	Precio de la madera (US$$m^3$)	Precio del CER (US$)	Escenarios
Vochysia guatemalensis	15	397,4	389,2	53,2 y 75,2	6,4 y 10,0	Madera a US$53,2 m^3 y a US$75,2 m^3 Madera a US$53,2 m3+ PSA US$890 ha^{-1} Madera a US$75,2 m^3+ PSA US$890 ha^{-1} Madera a US$53,2 m^3+ CER a US$6,4 Madera a US$75,2 m^3+ CER a US$10 CER a US$6,4 y a CER a US$10
Hieronyma alchorneoides	20	287,2	386,1	107 y 146,6	6,4 y 10,0	Madera a US$107 m^3 y a US$146,6 m^3 Madera a US$107 m^3+ PSA US$890 ha^{-1} Madera a US$146,6 m^3+ PSA US$890 ha^{-1} Madera a US$107 m^3+ CER a US$6,4 Madera a US$146,6 m^3+ CER a US$10 CER a US$6,4 y a CER a US$10
Bosque secundario sin manejo	40	20	588,6	62,5	6,4 y 10,0	Madera a US$62,5 m^3 PSA US$64 ha^{-1} $año^{-1}$ Madera a US$62,5 m^3+ CER a US$6,4 Madera a US$62,5 m^3+ CER a US$10 CER a US$6,4 y a CER a US$10
Bosque secundario con manejo	20	178,3	450,4	75,2	6,4 y 10,0	Madera a US$75,2 m^3 PSA US$64 ha^{-1} $año^{-1}$ Madera a US$72,5 m^3+ CER a US$6,4 Madera a US$72,5 m^3+ CER a US$10 CER a US$6,4 y a CER a US$10

Tabla 1. *Actividades necesarias para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales de Vochysia guatemalensis e Hieronyma alchorneoides en Costa Rica y su costo, con turnos de rotación de 15 y 20 años, respectivamente y para el manejo del bosque secundario (cifras entre paréntesis y en negrita) con un turno de 20 años.*

Los costos de la regeneración natural del bosque secundario para un periodo de 40 años se consideraron cero en este estudio; es decir, no se realizó ninguna actividad para su establecimiento y conservación. Sin embargo, se incluyó un costo mínimo en actividades de manejo dirigidas a incrementar el valor comercial (US$65 ha^{-1} en el año 10 y 20) y un costo fijo anual de US$40 ha^{-1} asociado a la tenencia de la tierra (costos de vigilancia, agua, electricidad, impuestos a bienes inmuebles, costos de las visitas del propietario, principalmente), que fue el valor promedio estimado a través de entrevistas a diferentes propietarios de fincas. Además se desarrolló un escenario de bosque secundario con un manejo más intensivo utilizando la técnica de franjas de enriquecimiento para un ciclo de aprovechamiento de 20 años. Con este sistema de establecimiento de un bosque secundario más productivo se propone limpiar franjas de 10 m de ancho con separaciones de 20 m que permiten plantar 250 árboles ha^{-1} de *V. guatemalensis*. Se asumió una sobrevivencia del 90% y se proyecta hacer una extracción de 100 árboles en el año 10, otros 100 en el año 20, dejando 25 árboles remanentes como semilleros.

Producción de bienes y servicios

En plantaciones de *V. guatemalensis* y de *H. alchorneoides* la producción de madera en forma acumulada (cosecha final y tres raleos) se estimó en 397,4 y 287,2 m^3 ha^{-1}, y con turnos de corta de 15 y 20 años, respectivamente (Solís y Moya 2004; Montero et al. 2007; Fonseca et al. 2011b). En el bosque secundario con un manejo mínimo se estima una producción de 20 m^3 ha^{-1} cada 40 años (Sánchez 1995; Fonseca 2006) y en bosque secundario con manejo intensivo se estiman 178,3 m^3 ha^{-1} en ciclos de corta de 20 años (Fonseca et al. 2011b).

Los certificados por reducción de emisiones de CO_2 (o CER, donde 1 CER = 1 tonelada métrica de CO_2 acumulado en forma de biomasa durante un ciclo de aprovechamiento) se estimaron en 389,2 CER ha^{-1} en plantaciones de *V. guatemalensis*, 386,1 ha^{-1} en *H. alchorneoides* (Fonseca et al. 2008; Fonseca et al. 2009; Fonseca et al. 2011a), 588,6 CER ha^{-1} en bosques secundarios con manejo mínimo y 450,4 CER ha^{-1} en bosques secundarios con manejo intensivo (Fonseca et al. 2008; Fonseca et al. 2009; Fonseca et al. 2011b) con ciclos de corta de 15, 20, 40 y 20 años, respectivamente.

Los escenarios de ingresos considerados fueron los siguientes:

a) En la regeneración natural: 1) venta de madera; 2) PSA; 3) venta de madera más CER; y 4) CER. El PSA es el pago por servicios ambientales (en US$) que el país reconoce a los propietarios de bosque (natural o artificial, Costa Rica 2011) y se ejecuta a través de contratos con el Gobierno. El precio de la madera en el mercado según Paniagua y Salazar (2011) fue de US$62,5 por m^3 para bosques con manejo mínimo y US$75,2 por m^3 con manejo intensivo. Para el bosque natural sin ninguna actividad de manejo (protección de bosques) el Gobierno brinda al propietario del recurso el PSA. El precio de los CER fue de US$6,4 y de US$10 (Neeff et al. 2007; Hamilton et al. 2008; Neeff et al. 2009).

b) En plantaciones forestales: 1) venta de madera; 2) venta de madera más PSA; 3) venta de madera más CER; 4) CER. Se consideraron dos precios por venta de madera: US$53,2 y US$75,2 por m^3 para *V. guatemalenis* y US$107 y US$146,6 por m^3 para *H. alchorneoides* (Paniagua y Salazar 2011).

Se varió el precio en los CER y de la madera en plantación para ver el efecto del mismo en la rentabilidad de las inversiones. Para las plantaciones forestales, la Oficina Nacional Forestal brinda información para el precio promedio y un precio alto por metro cúbico de madera. El ingreso por PSA para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales es de US$980 ha^{-1} distribuidos en cinco años) (desembolsos de 50, 20, 15, 10 y 5% en el año 1, 2, 3, 4 y 5, respetivamente) y para la protección de bosques US$64 ha^{-1} $año^{-1}$ (Costa Rica 2011). La **Tabla 2** resume la información anterior sobre producción de bienes y servicios y escenarios considerados en este estudio.

Año	Mano de obra Actividad	Costos (US$ ha^{-1})	Insumos	Costos (US$ ha^{-1})
1	chapeas trazado-marcación rodajea química hoyado distribución material fertilización plantación y resiembra poda deshija desbejuca	218,5 (**123,5**) 64,6 (**16,2**) 144,4 77,9 (**19,5**) 20,9 (**5,3**) 76 (19) 87,7 (**16,6**) 19 (4,8) 19 (4,8)	árboles herbicida fertilizante	314,3 (**71,4**) 8,8 197,2 (**49,3**)
2	chapea manual rodajea química	190 (**47,5**) 72,2	herbicida	4,4
3 y 6 4 y 8*	podas	57 (**18**)	herbicida	4,4
3,4 y 5	chapea manual	95 (**23,8**)		
1-15 1-20*	control de plagas	9,5	bolatón	2
3, 6 y 10 4, 8 y 12*	raleo	76 (**12**)	motosierra, combustible y aceite	48(**4**)
Servicios				
1	asistencia técnica	10,8 (**1,6**)		
2 - 15 2 - 20*	asistencia técnica	5,2 (**1,6**)		
1 - 15 1 - 20*	administración y vigilancia	6,5 (**1,6**)		
1 - 15 1 - 20*	gastos varios	150 (**40**)		
V. guatemalensis **= Total ha^{-1} = 4770,7 US$**				
H. alchorneoides **= Total ha^{-1} = 5626,7 US$**				
Bosque secundario manejado = Total ha^{-1} = 1373,5 US$				

*= años en que se ejecutan estas actividades para *H. alchorneoides* y para el bosque secundario.

Tabla 2. *Producción de bienes y servicios en cuatro sistemas productivos y escenarios evaluados.*

Análisis de las inversiones

Se determinó la eficiencia económica de las plantaciones forestales de las dos especies y la del bosque secundario y se los comparó frente a otras actividades productivas (piña, banano y ganadería, con una tasa mínima aceptable de descuento –TMA– del 3%). Se desarrolló un análisis de inversiones que utilizó el método del valor esperado por la tierra (VET). Según el VET, una inversión productiva en tierra (plantación forestal o regeneración natural) es aceptable desde el punto de vista económico si VET, como valor presente de un flujo de caja proyectando a futuro, resulta mayor o igual al precio de la tierra (Navarro 2006).

El VET fue de US$5882 para terrenos bajo producción ganadera, US$11765 para plantaciones forestales y US$15686 ha^{-1} para banano y piña, basándonos en los estudios de Pitacuar (2010) y Rodríguez (2010). Se simularon distintos tipos de inversionistas a través del uso de TMA reales de 3%, 6% y 9%. La tasa más baja simula un inversionista con liquidez cuyo costo de oportunidad del capital son los certificados a plazo, y la más alta a un inversionista sin liquidez que requiere de un crédito al 9% anual como máximo para poder invertir en ese uso de la tierra.

Para evaluar las inversiones en un contexto de multifuncionalidad a través del análisis de valores monetario y no monetario de los usos forestales frente a otros usos alternativos de la tierra, se utilizó el método de "elección simple de la mejor alternativa" (en inglés *simple beterness method*) (Rickard et al. 1967), que permite valorar los bienes de mercado (beneficios

monetarios) como los bienes públicos o intangibles (beneficios no monetarios) que no necesariamente tienen un precio en el mercado, y que generan bienestar a la sociedad (ver también Balvanera 2012 y Meave et al, 2012, en este número). Este método permite evaluar varias inversiones alternativas en el ámbito productivo monetario, y en el ámbito ambiental (índices de biodiversidad, de carbono, etc.). El análisis económico con este método nos permite llevar este estudio al ámbito económico ambiental para valorar por un lado la rentabilidad de varios usos alternativos de la tierra en términos monetario (interés privado), y por otro lado los servicios ambientales o bienes públicos de cada uno de estos usos de la tierra sin necesidad de monetarizarlos. El método de elección simple de la mejor alternativa permite comparar en este estudio usos de la tierra como el bosque, plantaciones forestales, ganadería y cultivos de banano y piña de forma simultánea (**Fig. 4**), y contrapone el interés del inversionista (bienes privados medidos en un índice monetario en US$ ha^{-1}) y la sociedad (bienes públicos medidos con un índice de algún servicio ambiental, en CER ha^{-1}).

Análisis económico productivo-ambiental

Se determinaron los beneficios marginales (para la sociedad) de tener más servicios ambientales, y los costos marginales (para el propietario) de reducir el valor de su inversión cuando se contrastan diferentes usos alternativos de la tierra. De la comparación entre el beneficio marginal y el costo marginal entre dos usos de la tierra se calculó el valor de compensación del servicio ambiental y los montos a compensar para desarrollar y/o mantener usos de la tierra forestales menos rentables, pero que brindan más servicios ambientales, en sitios donde existe un costo de oportunidad alto a favor de usos más competitivos de la tierra. Para este tipo de análisis se aplicó el método de “elección simple de la mejor alternativa” (Rickard et al. 1967) que permite calcular cuál sería el monto a compensar, sea como valor presente neto o como anualidad, para que una actividad productiva que no es competitiva con otro uso de la tierra pueda ser compensada para que se mantenga en el paisaje sin que el inversionista pierda o reduzca el valor de mercado de su activo, en este caso la tierra.

Resultados

Costos de las plantaciones y bosque secundario

El análisis de las inversiones se realizó en función de la estructura de costos e ingresos para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales, por un lado, y una aproximación para el bosque secundario con y sin manejo, por otro. Las diferentes actividades identificadas y su costo por hectárea aparecen en la **Tabla 1**. Para las plantaciones de *V. guatemalensis* se estimó un costo total de US$4770,7 ha^{-1} y para las de *H. alchorneoides* de US$5626,7 ha^{-1}, mientras que para el bosque secundario sin manejo se estimó un costo total de US$1730 ha^{-1}. Los costos asociados al manejo del bosque secundario con manejo intensivo ascienden a US$1373,5 ha^{-1}, aproximadamente el 27% de la inversión requerida para una plantación pura (plantación de cualquier especie, con una densidad inicial de aproximadamente 1000 árboles ha^{-1}). En las plantaciones y en el bosque secundario, uno de los rubros más altos es el correspondiente a los gastos varios (agua, electricidad, teléfono, transporte y alimentación, entre otros) debidos a la tenencia de la propiedad.

Ingresos por venta de madera, de CER y pago por servicios ambientales

Los ingresos estimados por la venta de la madera al precio más bajo superaron los US$21142 ha^{-1} en *V. guatemalensis* y US$30730 ha^{-1} en *H. alchorneoides* a los 15 y 20 años, respectivamente. El bosque secundario con manejo mínimo genera un ingreso por la venta de la madera de US$1250 ha^{-1} a los 40 años y de US$13408 ha^{-1} con manejo intensivo a los 20 años. Los ingresos por CER y por PSA se presentan en la **Tabla 3**.

Ecosistema	Madera (m^3/ha)	CER	Ingresos por		
			madera	CER	PSA
V. guatemalensis	397,4	389,2	29884,5 21141,7	2490,9	980,0
H. alchorneoides	287,2	386,1	42103,5 30730,4	2471,0	980,0
losBosque secundario con manejo mínimo	20	588,6	1250,0	3767,0	2400,0
Bosque secundario con manejo intensivo	178,3	450,4	13408,2	2882,6	0,0

Tabla 3. *Ingresos estimados por la producción de bienes y servicios ambientales en las plantaciones de V. guatemalensis y H. alchorneoides y por el bosque secundario con manejo mínimo y el bosque secundario con manejo intensivo en Costa Rica, en ciclos de rotación de 15, 20, 40 y 20 años respectivamente. Se consideró el valor del CER del* CO_2 *en US$6,4.*

Eficiencia económica (renta neta)

A medida que aumenta el precio de la madera, mayores son las posibilidades de establecer plantaciones en suelos de mayor valor. El análisis del VET revela que una TMA del 9% representa una carga financiera fuerte que afecta negativamente la rentabilidad de las inversiones, permitiendo su establecimiento solo en tierras marginales, razón por la cual no será considerada de aquí en adelante. Los proyectos con ingresos sólo por CER no son una actividad competitiva en ningún tipo de tierra (**Figs. 1a, 2a** y **3a**). La combinación de la venta de la madera más el PSA, o de la madera más el ingreso por CER, aumenta la rentabilidad de la inversión independientemente del valor de la tierra (**Figs. 1bc**, **2bc** y **3bc**).

Una TMA baja (3%) favorece el establecimiento de plantaciones en todo tipo de terrenos y en la mayoría de los escenarios previstos, excepto cuando se trata de actividades de protección que reciben un ingreso único por almacenamiento de carbono. Para *V. guatemalensis* con TMA del 6% son rentables los proyectos en todo tipo de tierras cuando se tienen ingresos por madera a cualquier precio más el aporte de los créditos de carbono, madera más el PSA o por solo madera a precio alto (**Fig. 1**). Con *H. alchorneoides* (**Fig. 2**) y una TMA del 6% los proyectos son financieramente aceptables cuando se tienen ingresos por madera a precio alto (US$146,6 por m^3) más el aporte de los créditos de carbono, madera más el PSA o por solo madera a precio alto.

La regeneración natural sin manejo no resulta una actividad rentable o competitiva para los propietarios de tierra, contrariamente a lo que ocurre bajo la propuesta de manejo por medio de franjas de enriquecimiento. Con una TMA de 3% se puede restaurar en todo tipo de tierras si se perciben ingresos por madera, o madera más CER. Con una TMA de 6% solo es posible cuando el bosque es manejado y se perciben ingresos por madera más CER (**Fig. 3**).

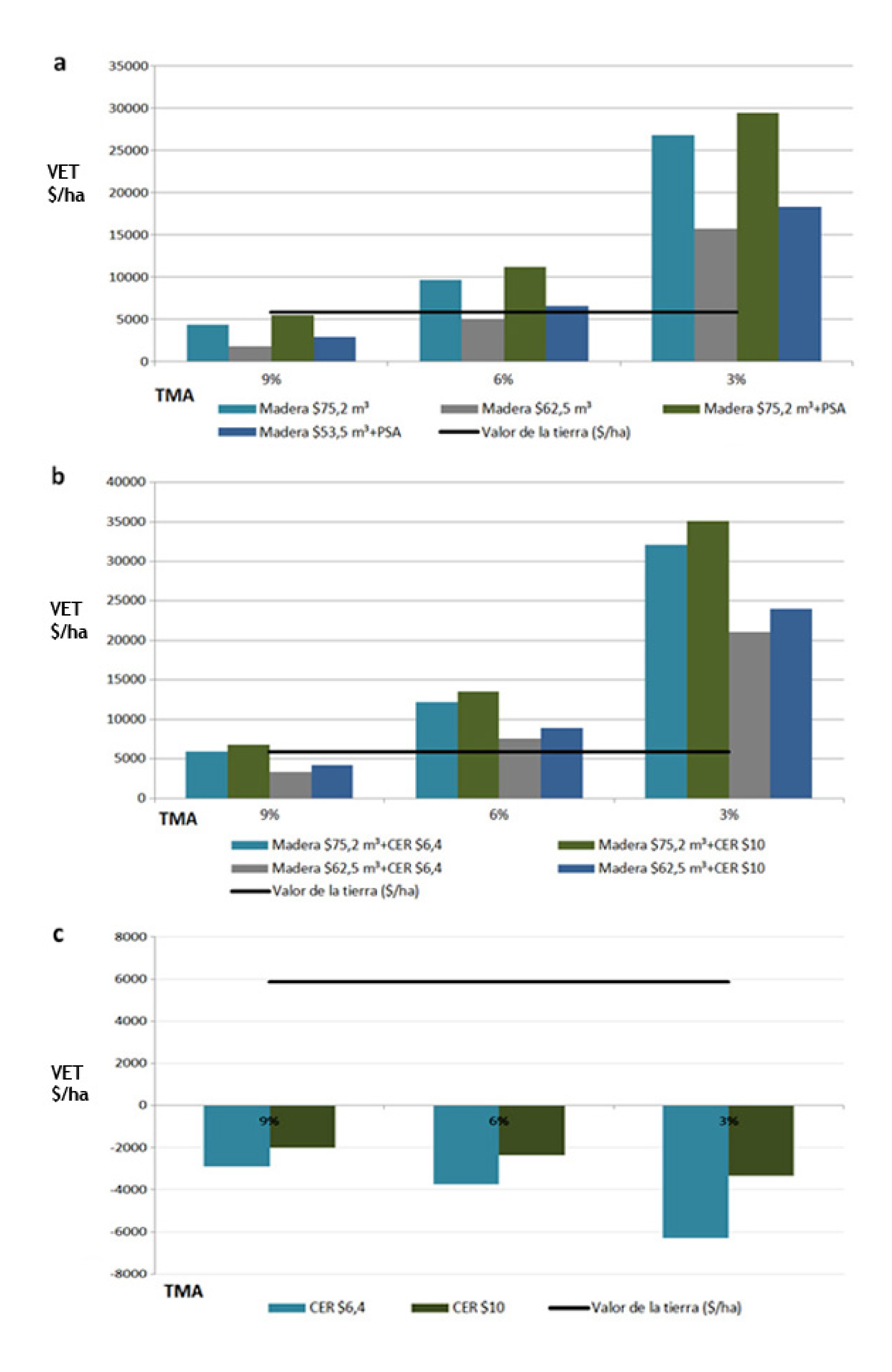


Figura 1. *Valor esperado de la tierra bajo diferentes escenarios en* *Vochysia guatemalensis*. ***a****) ingresos por venta de madera y madera más PSA,* ***b****) ingresos por venta de madera más CER,* ***c****) ingresos por CER.*

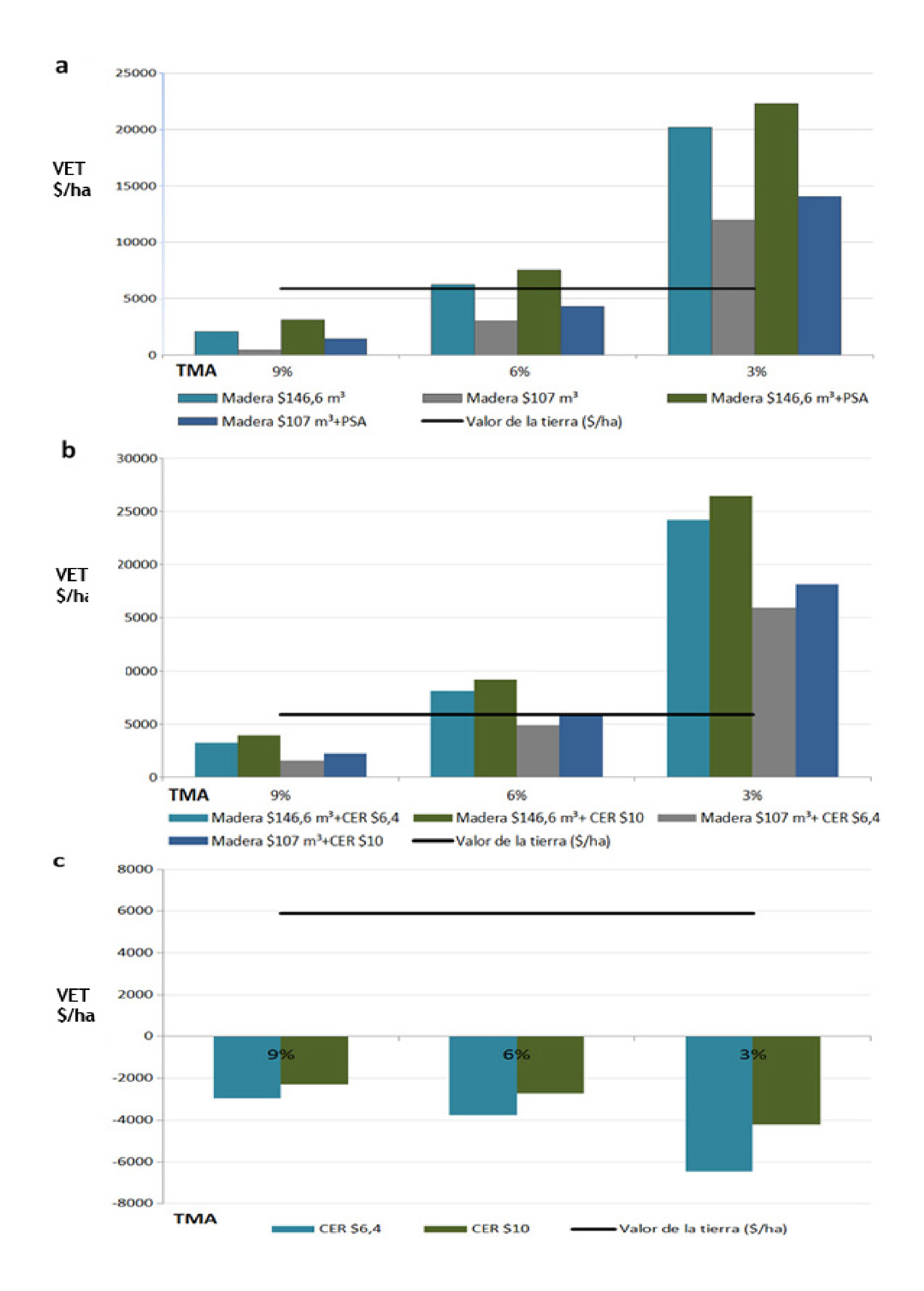


Figura 2. *Valor esperado de la tierra bajo diferentes escenarios en* *<u>Hieronyma alchorneoides</u>*. ***a****) ingresos por venta de madera y madera más PSA,* ***b****) ingresos por venta de madera más CER,* ***c****) ingresos por CER.*

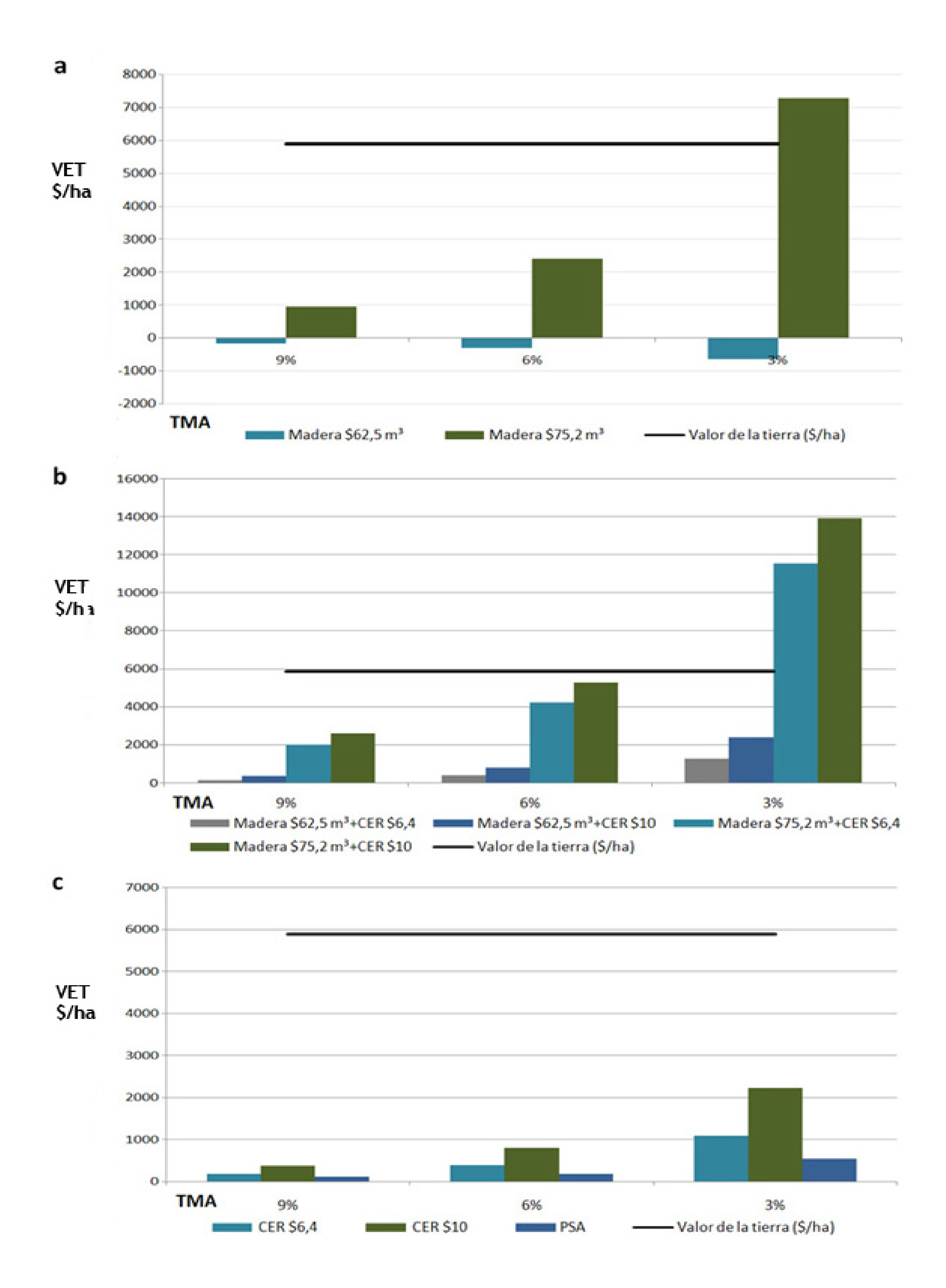


Figura 3. *Valor esperado de la tierra bajo diferentes escenarios en bosque secundario.* ***a****) ingresos por venta de madera,* ***b****) ingresos por venta de madera más CER,* ***c****) ingresos por CER y por PSA. El precio de venta más bajo de la madera corresponde al bosque con manejo mínimo.*

<u>Análisis económico productivo-ambiental</u>

Los resultados del análisis de inversiones utilizando el VET al 3% muestran que el cultivo de piña es la actividad más rentable junto con el cultivo de banano, constituyéndose en opciones atractivas de uso del suelo; seguida por las plantaciones forestales de *V. guatemalensis* e *H. alchorneoides*, bosque secundario manejado, la ganadería; y finaliza con el bosque con PSA.

En relación al carbono, el uso de la tierra o actividad productiva que almacena más carbono es el bosque secundario sin manejo (solo PSA), seguido por el bosque secundario con manejo, las plantaciones forestales y en menor cantidad el banano, piña y la ganadería.

Para ilustrar con más detalle los resultados antes mencionados en la **Figura 4** se presenta el método "elección simple de la mejor alternativa" (Rickard et al. 1967); en la escala de la derecha se representa la rentabilidad (en US$ ha^{-1}) de cada sistema productivo, y en la escala de la izquierda el carbono almacenado (CER ha^{-1}) en cada uso de la tierra. Tomando como ejemplo la diferencia en rentabilidad de la plantación forestal de *V. guatemalensis* y el banano, tiene una diferencia de rentabilidad de US$ 994 ha^{-1} a favor del uso banano. Sin embargo, la plantación forestal de *V. guatemalensis* tiene una diferencia de 317 CER ha^{-1} más que el cultivo del banano. Es decir, si un finquero quisiera pasar el cultivo de banano a plantación forestal de *V. guatemalensis* tendría un costo marginal de US$994 ha^{-1} en valor presente a cambio de un *beneficio marginal* de 317 CER ha-1. Podríamos decir que el precio neto del CER en valor presente debería ser de US$3,13 para que el finquero fuese indiferente entre la plantación forestal y el banano en el ámbito de rentabilidad. Sin embargo, la plantación sería el uso preferido por brindar un beneficio adicional fijando y almacenando carbono.

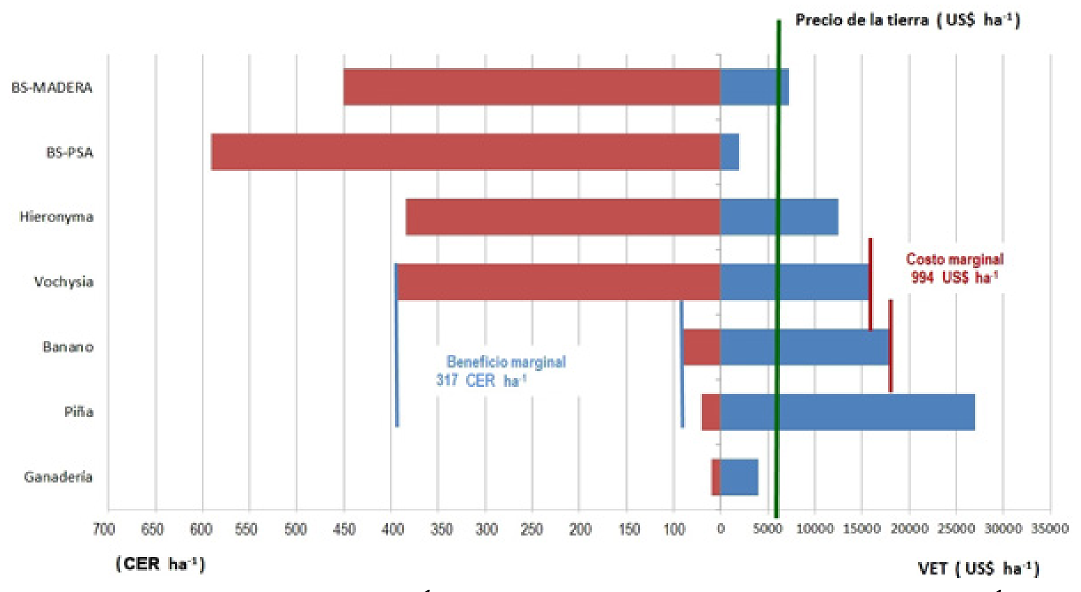


Figura 4. *Relación rentabilidad (US$ ha^{-1} al 3%) y almacenamiento de carbono (CER ha^{-1}) para siete actividades productivas de la tierra en la región Caribe de Costa Rica.*

El método "elección simple de la mejor alternativa" nos permite de una manera sencilla determinar el monto a compensar como PSA o CER para generar la acción deseada en función de maximizar los usos de la tierras forestales. La diferencia de US$944 ha^{-1} entre la rentabilidad del banano y la plantación de *V. guatemalensis*, puede abonarse como un pago único por la captura de carbono brindada a la sociedad en esa hectárea a perpetuidad, o bien puede pagarse anualmente un monto de US$29,82 ha^{-1} año^{-1} de PSA. Con la **Figura 4** se pueden hacer los ejercicios de elección simple entre los demás usos de la tierra y calcular los montos a compensar que podrían eventualmente pagarse en condiciones de costo de oportunidad real de un inmueble a otro.

Restauración forestal frente a actividades agropecuarias

Al comparar la relación de rentabilidad y la provisión del servicio ambiental (almacenamiento de carbono) para siete actividades productivas de la tierra (**Fig. 4**), se observa cómo el cultivo de piña y de banano, que se ubican en terrenos aptos para todo tipo de cultivos, generan rentabilidades tan altas que el PSA o los CER tendrían que generar ingresos entre US$790 a US$1185 ha^{-1} año^{-1} y de 1164 a US$1600 para que las plantaciones forestales y el bosque secundario, respectivamente, puedan competir con estos usos de la tierra.

La ganadería, asumiendo que se desarrolla en terrenos con aptitud para cultivos semipermanentes o permanentes, es menos rentable que las plantaciones forestales, por lo que cualquier monto de PSA o CER puede hacer a las plantaciones forestales más competitivas, y sobre todo, apoyar el problema de flujo de caja que estas tienen durante el horizonte de inversión. El PSA o los CER tendrán mayor impacto en bosques secundarios, pero sus montos deberían estar en un rango de US$134 a US$373 ha^{-1} año^{-1} para poder ser usos competitivos de la tierra.

Discusión

Los bosques y las plantaciones se deben promover en terrenos de capacidad de uso no mecanizables o de capacidad de uso IV en adelante, que son tierras que presentan fuertes limitaciones que restringen su uso a vegetación semipermanente y permanente como ganadería, frutales y producción forestal (Costa Rica 1994), donde el uso de la tierra alternativo es únicamente la ganadería. Los bosques y las plantaciones pueden también promoverse en terrenos mecanizables que no tienen condiciones favorables de acceso al mercado.

Para convertir terrenos de uso agrícola a uso forestal en las áreas donde el VET del uso alternativo de la tierra es mayor al VET de uso forestal bajo producción madera y almacenamiento de carbono, se requiere que el monto del PSA o del CER tenga una base que al menos compense el costo de oportunidad del uso alternativo de la tierra (que es principalmente ganadería). En los lugares donde el VET del uso forestal es mayor que el VET del uso alternativo de la tierra, el valor del CER debe definirse únicamente en el mercado de carbono. Este análisis ayuda a definir las zonas para desarrollar programas de PSA y de carbono; es decir, deben ser zonas en donde los usos eficientes en fijación de carbono puedan competir razonablemente con usos alternos en el contexto de un programa de PSA.

Las plantaciones de *V. guatemalensis* son la mejor opción para la restauración forestal de las estudiadas en este trabajo. Ello se debe, en primer lugar, a su valor y corto ciclo de rotación que permite al propietario un retorno de la inversión aceptable y en menor tiempo. Las plantaciones de *V. guatemalensis* ofrecen un VET más alto, por lo cual es posible establecer plantaciones en un mayor rango de calidades de tierra, y hasta bajo condiciones de TMA altas (9%). Adicionalmente, es una especie con mayor mercado para sus productos y por sus características silviculturales se adapta a gran variedad de sitios (Solís y Moya 2004). La segunda y tercera opción corresponde a la regeneración con manejo intensivo y a *H. alchorneoides*, respectivamente. La regeneración sin manejo, por lo explicado anteriormente, se descarta como una actividad forestal económicamente rentable para la restauración de sitios desprovistos de bosque en la zona de estudio.

En el área de estudio existen 92793 ha con potencial para fomentar usos forestales para producción de madera así como para la captura y almacenamiento de carbono en terrenos no mecanizables. Los PSA y los CERs pueden ofertase de acuerdo al valor de los usos alternativos inmediatos con la metodología discutida. El método de “escogencia simple de la mejor alternativa” es una herramienta sencilla que nos permite considerar los montos de PSA y precios CER para mantener los usos forestales de forma competitiva en un paisaje.

Los escenarios que hacen rentables las inversiones forestales son aquellos donde la producción de carbono y madera son complementarias y no excluyentes, en un contexto de tasa de descuento (TMA) real bajas (3 a 6%) que representan inversionistas con liquidez o con posibilidades de acceso a créditos eficientes, o bien condiciones macroeconómicas estables para los inversionistas (bajo riesgo país, seguridad jurídica de la inversión, y un mercado de capitales eficiente y accesible). Estas condiciones hacen competitivos los usos de la tierra forestales evaluados en este estudio en relación a usos de la tierra como la ganadería.

Los usos de la tierra agrícola como piña y banano por sus condiciones de accesibilidad a mercados de insumos y sus productos, así como condiciones de sitio no deberían ser considerados usos alternativos a los forestales porque se ubican en el paisaje en lugares diferentes. Sobre este último punto, en una revisión sobre rentabilidad de diferentes actividades, Chomitz (2006), concluye que en los sitios donde las condiciones son aptas para actividades agrícolas, la deforestación es recompensada con altos ingresos por hectárea. Éste es el caso de la zona Caribe de Costa Rica, donde el cultivo de banano, piña, plantas ornamentales y otros de elevado valor en el mercado internacional generan ingresos elevados y en un tiempo corto, limitando así los procesos de restauración forestal.

La regeneración natural del bosque secundario sin manejo no es una actividad económicamente atractiva para los propietarios de la tierra. Esto puede explicarse por varias razones: a) aunque tienen un incremento acelerado en volumen o biomasa (Fonseca 2006; Fonseca et al. 2008; Fonseca et al. 2011b), los bosques secundarios en regeneración incluyen muchas especies sin valor comercial para aserrío (Emrich et al. 2000), alcanzando en el mejor de los casos un valor promedio en el mercado de 62,5 US$/$m^3$, que al cabo de un ciclo de 40 años constituye un ingreso muy bajo (Paniagua y Salazar 2011); b) los costos asociados a la tenencia de la tierra son altos y se distribuyen anualmente, c) los ingresos por bienes y servicios que genera son bajos y un alto porcentaje de ellos se produce al final de ciclos largos de aprovechamiento y d) es una actividad a largo plazo si se compara con plantaciones forestales con ciclos de corta de 15 años o menos.

Otros inconvenientes para restaurar sitios por medio de sucesión natural sin manejo son: a) el bajo precio de los CER en los mercados de carbono (Neeff et al. 2009; Hamilton et al. 2009), b) diversas barreras (citadas en la introducción) limitan la participación del sector forestal en los mercados de carbono (Salinas y Hernández 2008; Merger 2008; Basu 2009). Esta situación hace poco probable que un propietario destine toda o parte de su finca a la restauración por medio de la sucesión natural. La única posibilidad, en el caso de Costa Rica, es que los terrenos hayan sido abandonados con anterioridad, ya que

no se permite el cambio de uso según la Ley Forestal N° 7575 (Costa Rica 1996) o se trate de inversión extranjera. En este caso se compran propiedades y se abandonan, lo que ha originado pérdida de empleo rural y un desplazamiento de mano de obra. Según Sancho y Pratt (1999), los bosques naturales son una inversión rentable si los CER tienen un precio superior a US$20 o si el precio del carbono cubre el costo de oportunidad de la tierra y esto implica alrededor de US$30 por CER. Bajo estas circunstancias, la opción de manejar el bosque secundario de tal manera que logre producir más madera en ciclos más cortos, y que al mismo tiempo provea a la sociedad otros servicios ambientales, se convierte en una posibilidad para mejorar la rentabilidad de las actividades de restauración forestal (ver también Balvanera 2012, en este número). Cabe destacar que tanto los bosques secundarios como las plantaciones, al recibir ingresos por el PSA o por CER, mejoran sustancialmente su flujo de caja, con lo cual aumentan las posibilidades de restauración forestal.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los Ing. Johan Montero Duarte y Henry Toruno Gutiérrez, funcionarios del Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional de Costa Rica, por apoyo en la recolección de información de campo. Este trabajo ha sido financiado por la Universidad Nacional de Costa Rica, el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Costa Rica y gracias al apoyo de la empresa privada.

Referencias

Balvanera, P. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* 21(1): 136-147.

Basu, P. 2009. A green investment. If growing forests in India can generate lucrative carbon credits, then why isn't everyone planting trees? News Feature. *Nature* 457(8):144-146.

Bonan, G.B. 2008. Forests and climate change: Forcings, freedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* 320 (5882):1444-1449.

Costa Rica 1994. Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM, Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. *Gaceta* nº 107 del 06/06/1994.

Costa Rica 1996. *Ley Forestal n° 7575, de la Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica*, Gaceta nº 72, del 17/04/1996. Disponible en: http://www.tramites.go.cr/manual/espanol/legislacion/7575.pdf

Costa Rica 2011. *Decreto Ejecutivo nº 36935-MINAET*. Pago de servicios ambientales para el año 2012. Gaceta nº 15 del 20/01/2012. Disponible en: http://www.gaceta.go.cr/pub/2012/01/20/COMP_20_01_2012.html

Chomitz, K.M. 2006. At Loggerheards? Agricultural Expansión, Proverty Reduction, and Environment in the Tropical Forests. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington DC, USA. Doi.:10.1596/978-0-8213-6735-3.

Emrich, A., Pokorny, B., Sepp, C. 2000. *Investigación de los bosques: Importancia del manejo de los bosques secundarios para la política de desarrollo bosques tropicales*. ECO – Society for socio-ecological programme consultancy Anette Emrich. 98 p + anexos. Eschborn. Alemania.

Fonseca, W. 2006. Estimación de tasas de crecimiento en tierras de pastos degradados en el Pacífico Central de Costa Rica. 48 p + anexos. FONAFIFO-MINAE. San José, Costa Rica,

Fonseca, W., Alice, F., Montero, J., Toruño, H., Leblanc, H. 2008. Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y en plantaciones forestales de Vochysia guatemalensis e Hieronyma alchorneoides en el Caribe de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 46:57-63.

Fonseca, W., Alice, F., Rey Benayas, J.M. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1):36-47.

Fonseca, W., Alice, F., Rey Benayas, J.M. 2011a. Carbon accumulation in aboveground and belowground biomass and soil of different age forest plantations in the humid tropical lowlands of Costa Rica. *New Forest.* DOI 10.1007/s11056-011-9273-9.

Fonseca, W., Rey Benayas, J.M, Alice, F. 2011b. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 262:1400-1408.

Hamilton, K., Sjardin, M., Marcello, T., Xu, G. 2008. *Forging a frontier: State of the voluntary carbon markets 2008.* Ecosystem Marketplace and New Carbon Finance. Washintong D.C. USA.

Hamilton, K., Sjardin, M., Shapiro, A., Marcello, T. 2009. *Fortifying the foundation: State of the voluntary carbon markets 2009*. Ecosystem Marketplace and New Carbon Finance. Washintong D.C. USA.

Holdridge, L. 1967. *Life Zone Ecology.* 82 p. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica,

ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2004. *Atlas digital de Costa Rica*. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica.

Liu, H., Zhao Lu, P., Si Wang, L., Biao Lin, Y., Quan Rao, X. 2008. Greenhouse gas fluxes from soils of different land-use types in a hilly area of South China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124(1-2):125-135.

Meave, J.A., Romero-Romero, M.A., Salas-Morales, S.H., Pérez-García, E.A., Gallardo-Cruz, J.A. 2012. Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México. *Ecosistemas* 21(1):000-000.

Mena, M. 2010. *Clima de Costa Rica, Vertiente del Caribe*. Instituto Meteorológico Nacional. San José. Costa Rica. Disponible en: http://www.imn.ac.cr/educacion/climacr/vertient_caribe.html.

Merger, E. 2008. *Forestry Carbon Standards 2008 - A comparison of the leading standards in the voluntary carbon market and the state of climate forestation projects*. Carbon Positive - http://www.carbonpositive.net/. November 2008. Copyright 2008 by Eduard Merger. Disponible en: http://www.carbonfix.info/chameleon//outbox//public/55/Forestry-Carbon-Standards-Canterbury-University-Eduard-Merger-2008.pdf

MIDEPLAN 2007. *Índice de desarrollo social 2007.* Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, Área de Análisis del Desarrollo. San José, Costa Rica. 132 p. ISBN 978-9977-73-026-4. Disponible en: http://dc213.4shared.com/doc/vC1ZGuxb/preview.html

MIDEPLAN 2008a. *Capacidad de uso del suelo por región.* Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, Área de Análisis del Desarrollo. San José, Costa Rica.

MIDEPLAN 2008b. *Nivel educativo de la población*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, San José, Costa Rica.

MIDEPLAN 2009. *Costa Rica: Estadísticas regionales 2001-2008*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, San José Costa Rica, 108 p. ISBN: 978-9977-73-037-0. 2012. Disponible en: http://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/5db001fc-f306-4177-af24-4f4b2a975183/Costa-Rica-Estadisticas-Regionales-2001-2008.pdf

MIDEPLAN 2010. *Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014 "María Teresa Obregón Zamora".* 235 p. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, San José, Costa Rica. ISBN: 978-9977-73-056-1 Disponible en: http://www.mideplan.go.cr/index.php/el-plan-nacional-de-desarrollo/114/822

MINAET 2009. *Segunda Comunicación a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. 206 p. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. San José, Costa Rica.

MINAET/FONAFIFO 2010. *Propuesta para la preparación de Readiness R-PP Costa Rica.* Presentado a Forest Carbon Partnership Facility (FCPF). 156 p. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones San José, Costa Rica. Disponible en: http://www.ing-agronomos.or.cr/archivos/RPP_Costa_Rica_6-9-10.jpg

Montero, M., De los Santos, H., Kanninen, M. 2007. *Hieronyma alchorneoides: Ecología y silvicultura en Costa Rica.* Serie técnica/Informe técnico nº 354. 50 p. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Navarro, G. 2006. *Análisis económico del impacto de las restricciones técnicas y legales sobre la rentabilidad del manejo bosques naturales y su competitividad respecto a otros usos de la tierra en Costa Rica*. 51 p. Proyecto Fortalecimiento Institucional para la Ejecución de la Estrategia Nacional de Control de la Tala Ilegal de Recursos Forestales en Costa Rica SINAC-FAO- TCP/COS/3003. San José, Costa Rica.

Neeff, T., Ashford, L., Calvert, J., Davey, C., Durbin, J., Ebeling, J., Herrera, T., Janson-Smith, T., Lazo, B. 2009. *The forest carbon offsetting survey 2009*. 33 p. EcoSecurities Dublin, Ireland. Disponible en: http://www.ecosecurities.com/Registered/ECOForestrySurvey2009.pdf

Neeff, T., Eichler, L., Deecke, I., Fehse, J. 2007. *Actualización sobre los mercados para compensaciones forestales para la mitigación del cambio climático.* Serie técnica. Manual técnico / CATIE; n° 77. 42 p. CATIE. Turrialba, Costa Rica, ISBN 978-9977-57-449-3.

Paniagua, R., Salazar, G. 2011. *Precios de la Madera en Costa Rica 2011 y tendencias de las principales especies comercializadas.* 13 p. Oficina Nacional Forestal. San José, Costa Rica.

Pitacuar, M. L. 2010. *Análisis económico para entender la forma en que se asignan los bosques y otros usos de la tierra en el Corredor Biológico San Juan La Selva*, *Costa Rica.* 109 p. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica,

Rey-Benayas, J.M., Navarro, J., Espigares, T., Nicolau, J.M., Zavala, M.A. 2005. Effects f artificial shading and weed mowing in reforestation of Mediterranean abandoned cropland with constrasting Quercus species. *Forest Ecology and Management* 212(1-3):302-214.

Rickard, W; Hughes, J; Newport, C. 1967. *Economic evaluation an choice in old growth douglas fir landscape management.* Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Forest Service Research Paper PNW49. 33 p. US Department of Agriculture. Washington D.C., USA.

Rodríguez, C. A. 2010. *Análisis económico de dos esquemas de comercialización de madera en pie para plantaciones forestales en la región atlántico Norte de Costa Rica*. Tesis Mag. Sc. 135 p. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Salinas, Z., Hernández, P. 2008. *Guía para el diseño de Proyectos MDL forestales y de bioenergía*. Serie Técnica. Manual Técnico/CATIE; no. 83. 171 p. CATIE. Turrialba, Costa Rica. ISBN 978-9977-57-461-5.

Sánchez, M. 1995. *Estudio de crecimiento y rendimiento en un bosque secundario y su aplicación a la elaboración de un plan de manejo, San Isidro. Costa Rica*. Tesis Mag. Sc. 132 p. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Sancho, F., Pratt, L. 1999. *Estimación del costo marginal de los servicios de fijación de carbono en Costa Rica.* 31 p. CEN 704. Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible -CLACDS- INCAE. Alajuela. Costa Rica.

Solís, M., Moya, R. 2004. *Vochysia guatemalensis en Costa Rica.* 100 p. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. Ministerio de Energía y Minas. San José, Costa Rica. Disponible en: http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/ManualVochysia.pdf

van Bodegom, A.J., Van den Berg, Y., Van der Meer, P. 2008. *Forest plantations for sustainable production in the tropics*. Wageningen University and Research Centre, The Netherlands. ISBN 978-90-8585-231-5.